第７講　光合成・バイオテクノロジー

(A)　光合成は，太陽の光エネルギーを生命が利用できる形に変換する過程である。光合成の最初の過程は，光によるクロロフィルなどの光合成色素の励起である。①励起エネルギーは反応中心クロロフィルに伝えられ，そこで電子が放出される。この電子は電子伝達系を移動し，最終的に［ア］の還元力として蓄えられる。この電子伝達に伴い，チラコイド膜の外側から内側へ［イ］が移動する。この［イ］の濃度勾配を利用することで，ATP（アデノシン三リン酸）合成酵素がADP（アデノシン二リン酸）とリン酸からATPを合成する。この過程で作られた［ア］とATPは，［ウ］回路による二酸化炭素の固定に使われる。

乾燥ストレス下では，蒸散を防ぐために気孔が閉鎖し，葉緑体への二酸化炭素の供給量が低下する。その結果，②二酸化炭素の固定反応の速度が低下し，電子伝達系で生じる過剰な還元力が活性酸素の生成を引き起こすことで，③葉緑体機能を阻害する。

問１　文中の［ア］～［ウ］に当てはまる適切な語句を記せ。

問２　下線部①に関連して，電子を放出した光化学系Ⅱの反応中心クロロフィルが元の状態に戻る。この反応に伴って，植物の光化学系Ⅱのチラコイド内側で起こる反応により，現在の組成の大気がつくられた。この反応を解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

問３　下線部②に関連して，乾燥ストレス以外に，自然環境下で二酸化炭素の固定反応速度が低下し，活性酸素を生成する主な状況を１つ記せ。

問４　下線部③に関連して，この阻害を軽減するために植物がもつ機構の１つが，反応中心当たりのクロロフィルの量を下げることである。しかし，自然環境下では不利な点があるので，多くの植物は，この機構を多用しない。どのようなときに，どのような理由で不利になるのか，解答欄の枠の範囲内で記せ。

問５　秋に植物が葉を落とす前に見られる紅葉は，クロロフィル分解の結果である。このクロロフィル分解の生理的な意義を解答欄の枠の範囲内で説明せよ。

(B)　ヒトでは，女性はＸ染色体を２本，男性はＸ染色体とＹ染色体を１本ずつもつ。女性の２本のＸ染色体はそれぞれ父親と母親由来であるが，一方が不活性化，もう一方は活性化され，不活性化されているＸ染色体上の遺伝子が発現しなくなることが知られている。２本のＸ染色体のどちらが不活性化されるかは細胞により異なり，父親由来のＸ染色体が不活性化している細胞と母親由来のＸ染色体が不活性化している細胞の割合は，組織によっても，個人によっても異なる。DNA は４つの塩基（A：アデニン，G：グアニン，C：シトシン，T：チミン）からなる。C はメチル（CH_3）基をもつ C^m と，もたない C に区別することができる。

Ｘ染色体上に存在する遺伝子 *A* の４塩基配列 CCGG は，不活性化したＸ染色体上においては CC^mGG に変化している。制限酵素 *Msp* Ⅰと *Hpa* Ⅱは，ともに CCGG を認識部位とするが，*Msp* Ⅰは CCGG と CC^mGG の両者を切断するのに対して，*Hpa* Ⅱは CCGG のみを切断し，CC^mGG を切断できない。**図１**に示すように，PCR プライマーに挟まれた領域が制限酵素で切断された DNA は PCR 法で増幅されない。また，遺伝子 *A* は３塩基の繰り返し配列（CAGCAG・・・）をもち，その長さは対立遺伝子により異なるため，対立遺伝子の由来した親を特定することができる。よって，DNA を *Hpa* Ⅱで処理した後に PCR 法で増幅することで，女性における２本のＸ染色体の不活性化状態を解析できる。

いま，父親および母親の末梢血液の細胞より抽出した DNA を制限酵素処理せずに用いて，**図１**のように遺伝子 *A* にプライマーを設計し PCR 法により増幅した。父親と母親由来の PCR 産物を電気泳動したところ，**図２**の左から１番目と２番目に示すようなバンドパターンが得られた。

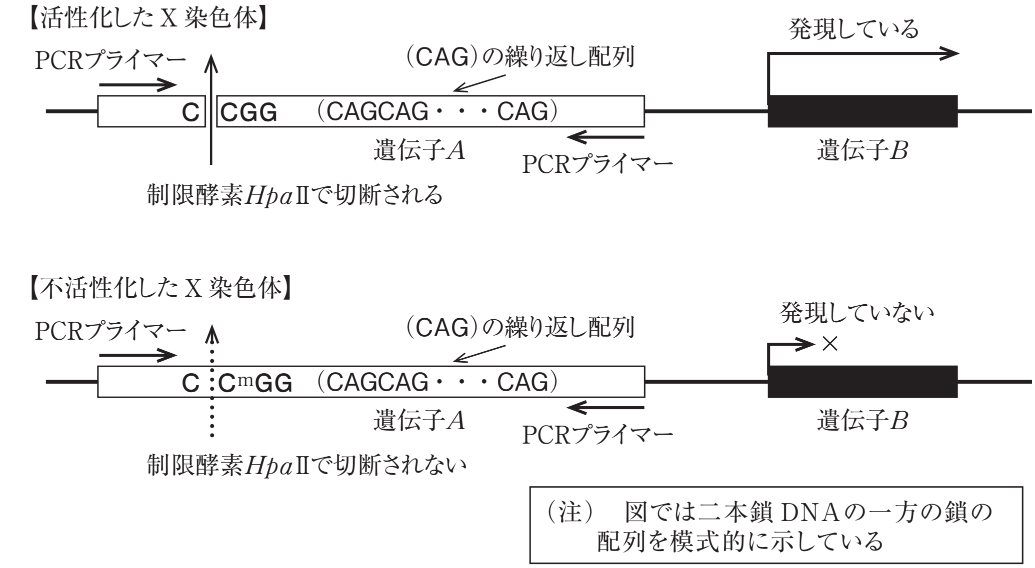

図１

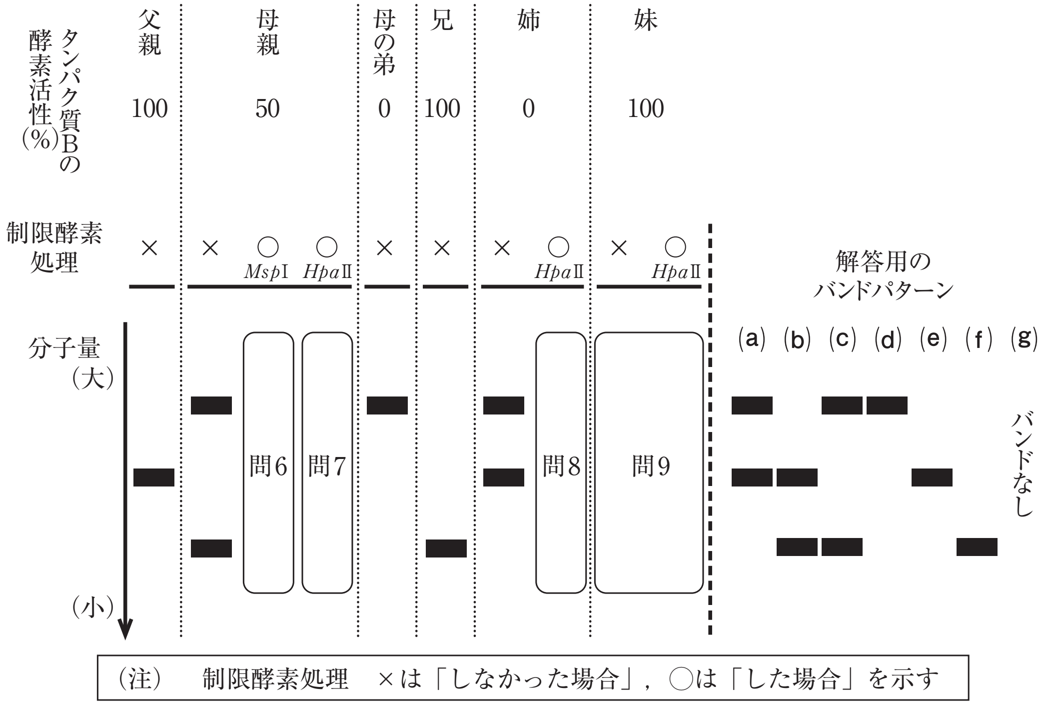

図２

問６　母親のDNAを制限酵素*Msp* Ⅰで処理した後，**図１**に示すようにPCR法で増幅した。予想される電気泳動の結果を**図２**に示されているバンドパターン(a)〜(g)から選べ。

X 染色体上に存在する遺伝子の変異が原因である疾患の多くは男性が発症するが，女性の場合，この変異遺伝子をもつ X 染色体が活性化している細胞の割合により，様々な程度で発症する。

いま，X 染色体上に存在する遺伝子 *B* の変異によりタンパク質 B の酵素活性を失う疾患にかかっている患者をもつある家系を検討する。このタンパク質 B は，末梢血液の細胞でのみ発現し，末梢血液の細胞を用いた酵素活性を測定することで解析可能である。

図２に，この家系（両親と兄，姉，妹，および，母の弟の６人）におけるタンパク質 B の酵素活性と遺伝子 *A* の PCR 法の解析結果を示す。PCR 法には，末梢血液の細胞より抽出した DNA を制限酵素処理しなかったもの，および，処理したもの（男性は処理しないもののみ）を用いている。電気泳動の各レーン間のバンドの太さの違いは考慮しない。

なお，この遺伝子 *B* は活性化されている X 染色体でのみ発現する。また，遺伝子 *B* は遺伝子 *A* の近傍に位置し，組換えは起こらないものとする。

問７　母親の DNA を制限酵素 *Hpa* Ⅱで処理した後，**図１**に示すように PCR 法で増幅した。予想される電気泳動の結果を**図２**に示されているバンドパターン(a)～(g)から選べ。

問８　姉の DNA を制限酵素 *Hpa* Ⅱで処理した後，**図１**に示すように PCR 法で増幅した。予想される電気泳動の結果を**図２**に示されているバンドパターン(a)～(g)から選べ。

問９　妹の DNA を**図１**に示すように，制限酵素 *Hpa* Ⅱで処理せずに PCR 法で増幅した場合と，制限酵素 *Hpa* Ⅱで処理した後に PCR 法で増幅した場合，電気泳動のバンドパターンの組み合わせは，複数の可能性が考えられる。次の選択肢(あ)〜(し)が示す組み合わせのうち，可能性のあるものをすべて選べ。

	図２のバンドパターンの組み合わせ	
	DNA の *Hpa* Ⅱ酵素処理	
選択肢	しなかった場合	した場合
(あ)	(a)	(a)
(い)	(a)	(d)
(う)	(a)	(e)
(え)	(a)	(g)
(お)	(b)	(b)
(か)	(b)	(e)
(き)	(b)	(f)
(く)	(b)	(g)
(け)	(c)	(c)
(こ)	(c)	(d)
(さ)	(c)	(f)
(し)	(c)	(g)

第７講

(A)

問１　**ア**　NADPH　**イ**　H^+　**ウ**　カルビン・ベンソン

問２　水の分解によって酸素と水素イオンと電子が生じ，その電子を受け取ることで反応中心クロロフィルが元の状態に戻る。

問３　低温（強光）

問４　反応中心当たりのクロロフィル量が少なくなると，光合成にとって適切な条件であっても光エネルギーを十分に受け取れない。そのため，ATP や NADPH を十分に合成できず，CO_2 固定速度が低下する。

問５　クロロフィルには窒素などの成分が含まれている。葉が落ちる前にクロロフィルを分解することでそれらの成分を回収し，他の器官に運ぶことで再利用する。

(B)

問６　(g)

問７　(c)

問８　(e)

問９　(い)，(お)，(か)，(き)